

Optimasi Desain Kompor Cangkang Kelapa Sawit

Hermawan Febriansyah¹, Ahmad Agus Setiawan², Kutut Suryopratomo³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Fisika FT UGM

Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

¹hitharo@gmail.com

²a.setiawan@ugm.ac.id

³kutut@ugm.ac.id

Intisari— Cangkang kelapa sawit merupakan bagian paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit. Dalam hasil penelitian sebelumnya, analisis dengan alat kalorimeter menunjukkan bahwa besar kalori yang ada dalam cangkang kelapa sawit mencapai 4362,894 kalori/gram. Pada penelitian ini dibuat kompor cangkang kelapa sawit *Gama Stove*. Kompor sebelumnya memiliki efisiensi 50%. Dari penelitian ini dilakukan pengujian kompor berdiameter ruang bakar 20 cm dengan variasi tinggi masing-masing 25 cm, 30 cm dan 35 cm atau disebut dalam penelitian ini dengan kompor 20x25, 20x30 dan 20x35. Pengujian dilakukan dalam 3 tahap, yaitu uji pendidihan air, uji suhu pembakaran dan uji laju gas pembakaran. Dalam pengujian, bukaan udara primer kompor divariasikan pada 50%, 75% dan 100%. Hasil pengujian kompor dari penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan kinerja kompor dibanding kompor sebelumnya. Dari kinerja kompor berdasarkan dari segi efisiensi bahan bakar dan suhu pembakaran, kompor 20x25 bukaan 75% memiliki kinerja terbaik. Kinerja kompor tersebut ditunjukkan dengan : daya panas 4,3 KW, laju konsumsi bahan bakar 0,857 kg/jam, efisiensi 66,63%, suhu rata-rata pembakaran 682,590C dan laju gas pembakaran 1,29 m/s. Sedangkan, kompor 20x30 bukaan 100% memiliki kinerja terbaik berdasarkan dari segi efisiensi kompor dan *updraft*. Kinerja kompor tersebut ditunjukkan dengan : daya panas 5,07 kW, laju konsumsi bahan bakar 1 kg/jam, efisiensi 68,75%, suhu rata-rata pembakaran 664,750C dan laju gas pembakaran 1.63 m/s.

Kata kunci— cangkang sawit, kompor *Gama Stove*, tinggi kompor, bukaan udara, kinerja.

Abstract— Palm kernel shell or oil palm shells is the hardest part on the components contained in the oil palm. In previous research, the analysis showed that the calories of oil palm shell reaches 4362.894 cal/g. In this study, oil palm shell stove called *Gama Stove* was developed from previous stove that has the efficiency of 50%. This research is designed to test the performance of the stove with combustion chamber diameter of 20 cm with each height 25 cm, 30 cm and 35 cm or labeled to in this study with Kompor 20x25, 20x30 and 20x35. The test is divided into 3 phases; there are water boiling test, combustion test, and gas burning velocity test. In testing, the primary burner air opening was varied into 50%, 75% and 100%. The test results from the stove on this study showed a performance increasing compared to the previous stove. Stove performance on terms of fuel efficiency and combustion temperature, Kompor 20x25 openings 75% had the best performance. The performance is shown by : 4.3 kW thermal power, fuel consumption rate of 0857 kg/h, the efficiency of 66.63%, the average combustion temperature 682.590C and the rate of combustion gas 1.29 m/s. Meanwhile, the Kompor 20x30 openings 100% has the best performance in terms of efficiency. The performance is shown by : 5.07 kW thermal power, fuel consumption rate of 1 kg/h, the efficiency of 68.75%, the average combustion temperature 664.75°C and the rate of combustion gas 1.63 m/s.

Keywords— palm kernel shell, *Gama Stove*, stove height, air damper, performance

I. PENDAHULUAN

Pada saat ini krisis energi dianggap sebagai ancaman nasional, bahkan menjadi ancaman global. Krisis energi ini berdampak pada industri seperti industri tahu dan kerupuk. Mereka mulai kesulitan untuk mendapatkan minyak tanah dan kayu bakar yang umumnya mereka pergunakan selama ini. Pihak pemerintah dan swasta gencar mencari alternatif solusi dalam memecahkan masalah tersebut. Biomassa dianggap sebagai salah satu sumber daya terbarukan alternatif untuk masa depan pada tingkat kecil maupun skala besar. Biomassa sudah memasok 14% dari konsumsi energi primer dunia. Rata-rata, biomassa menghasilkan 35% dari energi primer di negara berkembang [1].

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) merupakan tanaman berliгноselulosa yang memiliki potensi besar dimana luas

lahan perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 6,65 juta ha dengan menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO) sebesar 17 juta ton pada tahun 2007 [2].

Cangkang sawit merupakan salah satu limbah biomassa padatan yang sering ditemui di pabrik kelapa sawit. Cangkang sawit merupakan bagian paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit. Dalam hasil penelitian sebelumnya, analisis dengan alat kalorimeter menunjukkan bahwa besar kalori yang ada dalam cangkang kelapa sawit mencapai 4362,894 kalori/gram [3].

Pemanfaatan cangkang sawit di industri pengolahan minyak kelapa sawit masih belum dipergunakan sepenuhnya, sehingga masih meninggalkan residu yang akhirnya cangkang ini dijual mentah ke pasaran. Padahal potensi cangkang sawit pada tahun 2007 saja mencapai 1,9 juta ton pertahun [4]. PT Salim Ivomas Pratama (SIMP) Tbk menjadi salah satu

perusahaan kelapa sawit di Indonesia yang menghasilkan limbah cangkang sawit tersebut.

Komprom roket adalah tipe komprom biomassa yang didesain untuk bahan bakar kayu bakar, yang mengkombinasikan udara masuk dengan slot bahan bakar dalam sebuah jalan masuk ke ruang pembakaran. Dengan aliran udara yang baik ke api dan kuantitas bahan bakar yang terkontrol, pembakaran yang mendekati sempurna dan resultan panas yang fokus, komprom roket memiliki kualitas efisiensi yang tinggi. Kualitas efisiensi yang tinggi, berdampak pada pengurangan penggunaan kayu bakar sebagai bahan bakarnya. Oleh karena itu, komprom ini sangat membantu menyelesaikan permasalahan krisis kayu bakar yang pernah ada di Malawi [5].

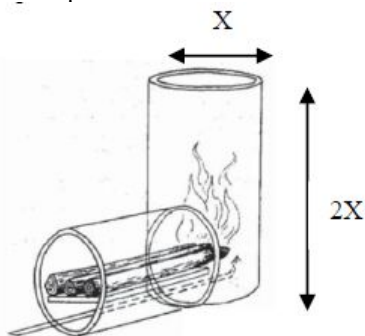
Kinerja komprom jika menggunakan cangkang sawit belum dilakukan evaluasi kinerja. Belum diketahuinya kebutuhan udara dalam hal ini udara primer untuk pembakaran, pengaruh tinggi komprom, dan apakah memiliki kinerja sama jika dilakukan perbesaran ukuran komprom masih menjadi *research question* yang diupayakan untuk dijawab. Jadi, penelitian ini dilakukan untuk mengoptimasi desain komprom berbahan bakar cangkang kelapa sawit.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh gambaran kinerja komprom dengan variabel penelitian persentase bukaan saluran udara primer dan tinggi komprom terhadap ukuran diameter komprom cangkang kelapa sawit, dan menciptakan purwarupa komprom cangkang kelapa sawit dari hasil evaluasi. Hasil dari rancang bangun ini diharapkan sebagai bahan referensi dan pertimbangan dalam merancang komprom cangkang kelapa sawit yang optimal untuk berbagai ukuran.

II. STUDI PUSTAKA

Dalam penelitian sebelumnya diadakan perancangan komprom untuk bahan bakar kayu bakar dengan prinsip komprom roket. Dalam komprom roket, terdapat 4 komponen utama yang harus diperhatikan, antara lain [5]:

- 1) bahan bakar, dimana meletakkan dan darimana memasukkan,
- 2) ruang pembakaran,
- 3) cerobong, untuk menjaga aliran udara ke atas, dan
- 4) perpindahan panas



Gambar 1. Skema komprom roket [5]

Dalam tes percobaan efisiensi komprom roket menggunakan metode uji pendidihan dengan perhitungan jumlah bahan bakar yang digunakan dan lama pendidihan air. Sedangkan

proses pengukurannya dibagi menjadi 2 jenis, yaitu dari pengukuran efisiensi pembakaran (CE) dan transfer panas (HTE). Efisiensi total adalah perkalian dari CE dan HTE. Nilai efisiensi total pada komprom roket tersebut bernilai lebih besar sama dengan 30% [5].

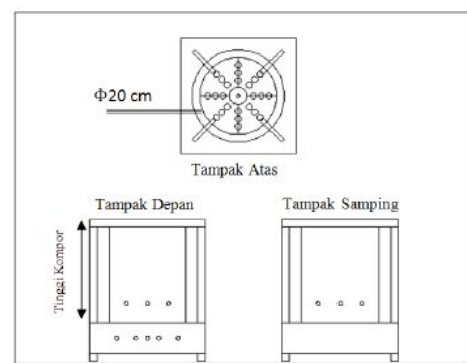
Pengujian komprom berdasarkan buku manual yang dikeluarkan oleh Asia Regional Cookstove Program (ARECOP) dibagi menjadi 3 jenis tes, yaitu *Kitchen Performance Test*, *Controlled Cooking Test* dan *Water Boilling Test*. Masing-masing tes memiliki tujuan tertentu. *Kitchen Performance Test* ditujukan untuk mengetahui perbandingan penggunaan bahan bakar pada komprom purwarupa oleh individu tertentu dalam harian. *Controlled Cooking Test* ditujukan untuk mengetahui perbandingan efisiensi dalam memasak tertentu dengan variabel perbandingan berupa ukuran panci, jenis panci, jenis bahan bakar dan proses pemasakan. Sedangkan *Water Boilling Test* ditujukan untuk pengembangan kualitas komprom meliputi efisiensi pembakaran, efisiensi perpindahan panas dan reduksi emisi pada proses mencapai titik didih air [7].

Dalam penelitian sebelumnya dilakukan unjuk kerja Komprom UB-3 menggunakan metode uji pendidihan air untuk mengetahui efisiensi komprom. Komprom ini memiliki sistem pemanasan udara awal untuk pembakaran (*pre-heating*) dan *counter flow* dengan pencampuran udara dan gas bahan bakar secara turbulen. Dengan menggunakan bahan bakar potongan kayu bakar, komprom ini memiliki efisiensi 50%. Komprom ini dijual di pasaran dengan harga berkisar Rp 200.000,- [8].

III. PELAKSANAAN PENELITIAN

A. Komprom Uji

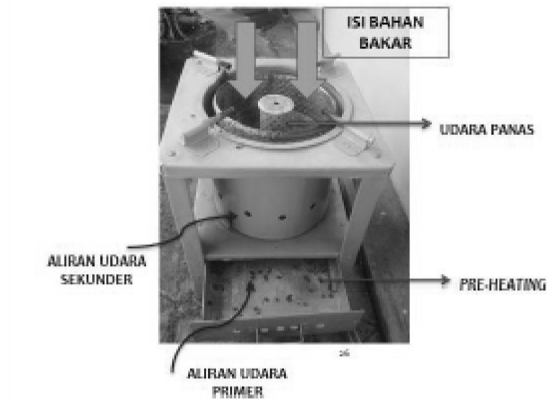
Dalam penelitian ini dirancang komprom cangkang kelapa sawit *Gama Stove* dengan ruang bakar berdiameter 20 cm berjumlah 3 unit dengan tinggi masing-masing 25 cm, 30 cm dan 35 cm. Komprom yang digunakan diberi tambahan berupa sekat yang membagi ruang bakar komprom menjadi 4 bagian simetris.



Gambar 2. Sketsa komprom uji *Gama Stove*

Secara volume, ruang bakar yang dimiliki komprom masing-masing sebesar 7,45 liter, 8,94 liter, dan 10,43 liter. Lalu, komprom ini diberi label berdasarkan tinggi komprom, yaitu komprom 20x25, 20x30 dan 20x35. Ketiga komprom ini berbahan

plat drum bekas dengan biaya pembuatan sekitar seratus ribu rupiah. Lubang udara primer terdiri atas 2 bagian, yaitu lubang udara dari lingkungan dan lubang udara dari rak kompor. Udara dari lingkungan akan memasuki rak kompor. Pada bagian rak kompor akan terjadi *pre-heating* sehingga suhu udara ketika memasuki ruang bakar kompor sudah meningkat. Desain tersebut juga digunakan pula pada lubang udara sekunder. Lubang udara sekunder memiliki 2 bagian yang terletak pada ansang tengah kompor dan dinding kompor. Lubang udara sekunder pada bagian ansang kompor sebenarnya merupakan lubang udara primer, namun menyerupai lubang sekunder karena dibuat memanjang ke atas.

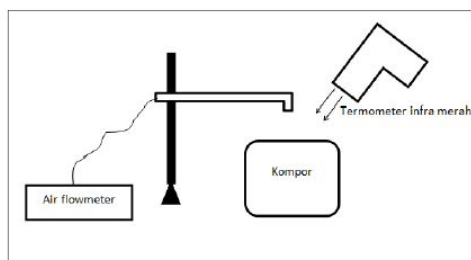


Gambar 3. Prinsip kerja kompor *Gama Stove*

B. Sistem Pengujian

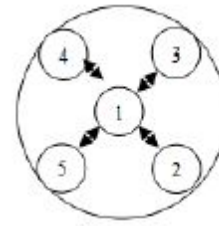
Sistem pengujian dilakukan dalam 3 tahap, yaitu pengujian aliran udara pembakaran, suhu pembakaran dan uji pendidihan air. Sistem pengujian aliran udara pembakaran digunakan anemometer yang diletakkan pada ketinggian 80 cm dari dasar ruang bakar kompor.

Anemometer disangga dengan tiang statis buatan, sehingga posisi pengukuran tidak berubah. Pengukuran dilakukan secara angular dan radial pada 5 posisi dengan radius 5 cm. Sudut pengukuran dilakukan pada 00 dan 450. Pengambilan data dilakukan setiap 2 menit sampai kompor mati.



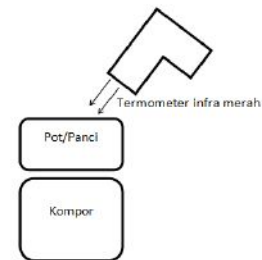
Gambar 4. Skema pengukuran suhu dan gas pembakaran

Sistem pengujian suhu pembakaran digunakan termometer infra merah. Pengukurannya dengan ditembakkan langsung ke inti ruang pembakaran. Pengukuran suhu akan akurat dan tidak terpengaruh posisi penguji, selama arah tembakan infra merah sesuai sasaran pengukuran.

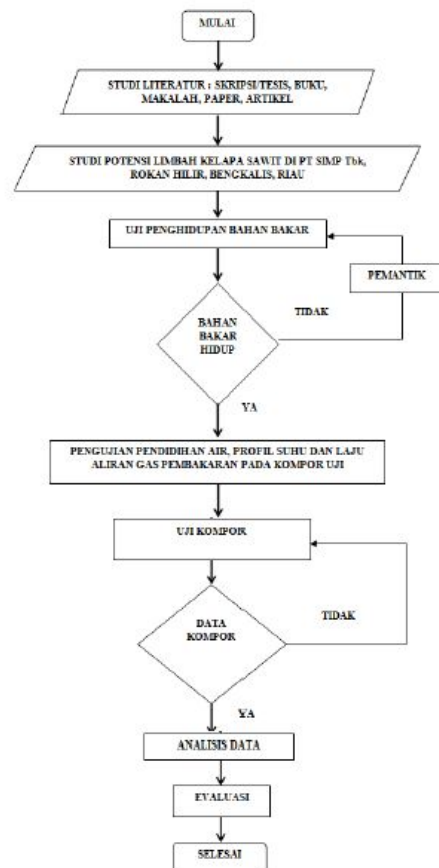


Gambar 5. Posisi pengukuran gas pembakaran

Sistem pengujian pendidihan digunakan panci berisi 2 kg air. Selama pendidihan, dilakukan pengukuran suhu air dalam panci setiap 2 menit. Pendidihan dimulai ketika kompor sudah panas. Setelah selesai pendidihan, panci berisi air ditimbang kembali.



Gambar 6. Skema pengujian pendidihan air

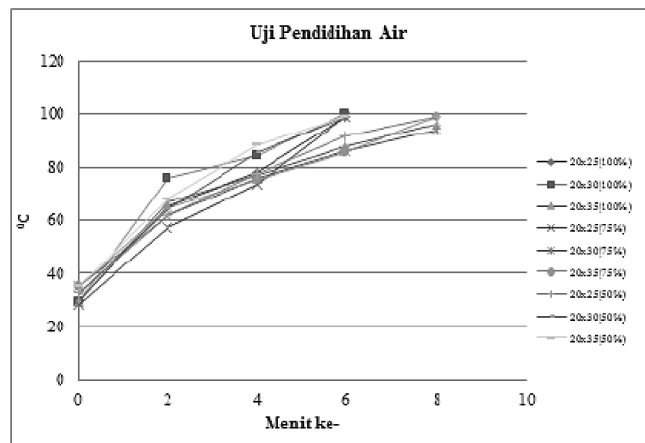


Gambar 7. Diagram alur penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Pendidihan Air

Hasil dari uji pendidihan air adalah untuk mengetahui efisiensi yang dimiliki kompor jika diberikan beban. Uji pendidihan air dalam penelitian ini dilakukan secara singkat, yaitu dari suhu air normal sampai air mendidih. Air mendidih yang dimaksud adalah saat suhu air sudah mendekati 100°C dan suhu sudah tidak bertambah lagi.



Gambar 8. Grafik suhu air dalam uji pendidihan

Dari grafik uji pendidihan air yang ditunjukkan pada Gambar 8 terlihat bahwa pendidihan tercepat berlangsung pada menit ke-6. Kompor yang mengalami pendidihan air pada menit tersebut meliputi kompor 20x25 dengan bukaan 75% dan 100%, kompor 20x30 dengan bukaan 50% dan 100%, serta kompor 20x35 dengan bukaan 50%.

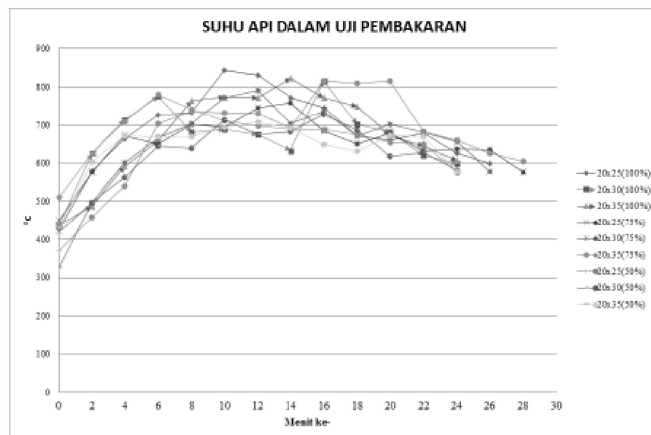
Hasil uji pendidihan air tersebut menunjukkan adanya hubungan terhadap perubahan tinggi ruang bakar dan bukaan udara kompor. Semakin tinggi ruang bakar kompor, semakin lambat waktu yang dibutuhkan. Tinggi kompor optimal dalam uji pendidihan air tersebut dimiliki oleh kompor 20x25 dan kompor 20x30, sehingga dapat diperkirakan bahwa pada kedua tinggi kompor memiliki efisiensi yang lebih besar dibandingkan dengan kompor 20x35. Di lain hal, bukaan udara optimal yang dimiliki kompor untuk mendidihkan air terletak pada bukaan 75% dan 100%. Pada bukaan tersebut dapat diperkirakan adanya peningkatan daya panas terhadap perbesaran bukaan udara kompor.

B. Pengujian Pembakaran

Pembakaran pada kompor mulai terjadi ketika suhu berada di 3000°C – 5000°C. Terlihat dari grafik uji suhu pembakaran pada Gambar 9 bahwa setelah pembakaran mulai terjadi, suhu pembakaran terus meningkat sampai titik tertentu, lalu menurun kembali. Pada titik puncak suhu tertinggi dicapai oleh kompor 20x25 dengan bukaan 100%. Suhu pembakaran pada kompor tersebut mencapai 843,10°C. Kemudian suhu akan menurun seiring hilangnya bara pembakaran. Setelah api

menghilang, pembakaran cangkang sawit meninggalkan arang yang rata-rata sebesar 20% dari massa total bahan bakar.

Lamanya pembakaran tiap kompor tidak semuanya sama. Pembakaran terlama terjadi pada kompor 20x25 dengan bukaan 50% dan 75%, yaitu mencapai menit ke-28. Sedangkan pembakaran tersingkat terjadi pada kompor 20x30 dengan bukaan 100% dan kompor 20x35 dengan bukaan 50%, 75% dan 100%, yang hanya mencapai pada menit ke-24.

Gambar 9. Grafik suhu api dalam uji pembakaran pada kompor *Gama Stove*

Hasil pengujian suhu pembakaran kompor menunjukkan adanya hubungan perubahan tinggi dan bukaan kompor. Semakin besar bukaan kompor dan tinggi kompor, semakin besar laju konsumsi bahan bakar yang terjadi, sehingga bahan bakar menjadi lebih cepat habis. Kuantitas udara yang masuk dalam ruang bakar yang semakin banyak menjadikan reaksi pembakaran semakin cepat. Di sisi lain, semakin tinggi kompor, semakin besar laju konsumsi bahan bakar dapat diperkirakan bahwa adanya perbesaran ruang bakar kompor secara volumetrik juga berpengaruh

C. Pengujian Laju Gas Pembakaran

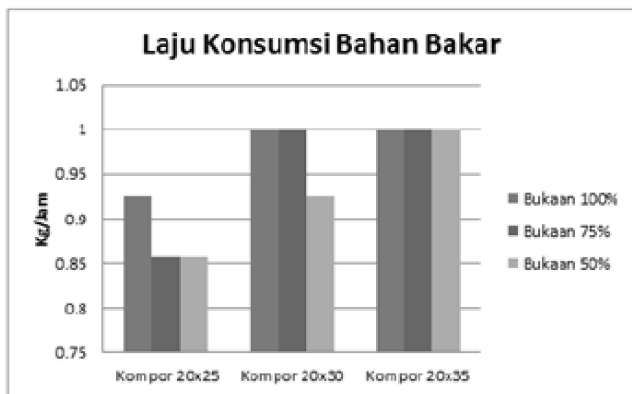
Dari semua hasil pengujian laju gas pembakaran kompor menunjukkan adanya hubungan antara dinamika temperatur terhadap laju gas pembakaran yang dihasilkan. Ketika suhu pembakaran dalam kompor meningkat, laju gas pembakarannya juga ikut meningkat. Sebaliknya ketika suhu pembakaran dalam kompor menurun, laju gas pembakaran juga ikut menurun. Kompor 20x30 bukaan 100% memiliki laju gas pembakaran tertinggi dibandingkan kompor lainnya. Besar laju gas pembakarannya mencapai 1,63 m/s pada suhu 700,80°C. Namun, besarnya laju gas pembakaran tidak selalu seiring dengan suhu pembakaran yang tinggi. Salah satunya pada kompor 20x25 bukaan 100%, ketika suhu pembakaran berada pada 667,90°C, laju gas pembakaran yang dihasilkan 1,46 m/s. Sedangkan pada kompor 20x35, ketika suhu pembakaran berada pada 659,90°C, laju gas pembakaran mencapai 1,59 m/s. Hal ini menunjukkan perbedaan desain kompor (tinggi ruang bakar) mempengaruhi besarnya laju gas pembakaran.

D. Analisis Data Kinerja Kompor

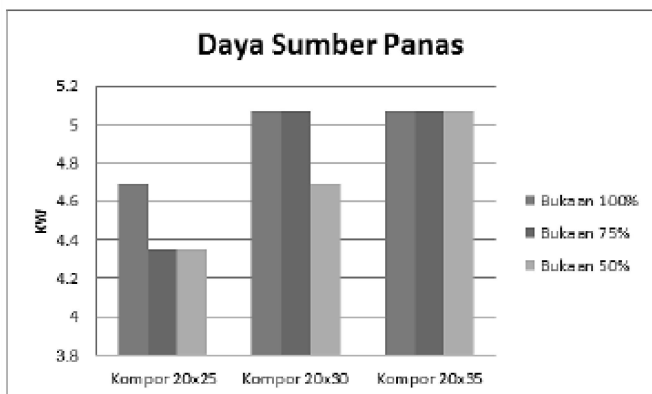
Dari hasil pengujian diperoleh data dasar untuk mendapatkan parameter kinerja kompor berupa laju konsumsi bahan bakar, daya panas, efisiensi dan *updraft* kompor. Terlihat pada gambar hasil analisis data kinerja kompor menunjukkan bahwa kompor memiliki laju konsumsi bahan bakar berkisar 0,85 – 1 kg/jam. Kompor 20x25 memiliki laju konsumsi bahan bakar lebih rendah dibandingkan yang kompor 20x30 dan kompor 20x35. Laju konsumsi bahan bakar terendah diperoleh pada kompor 20x25 dengan bukaan 50% dan 75% dengan 0,857 kg/jam. Sedangkan laju konsumsi bahan bakar tertinggi diperoleh dari kompor 20x30 kecuali bukaan 50% dan kompor 20x35 dengan 1 kg/jam.

Tabel 1. Tabel data kinerja kompor uji *Gama Stove*

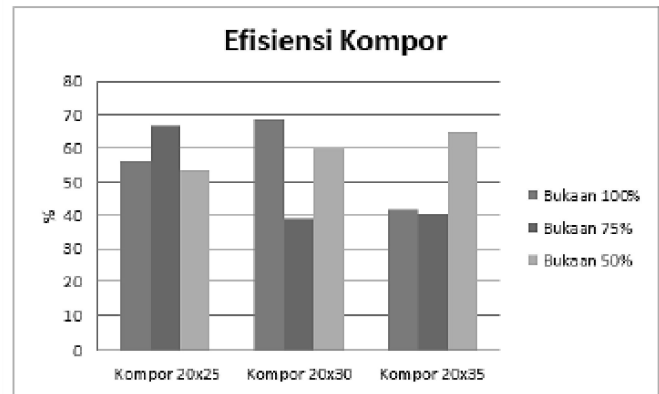
Tipe Kompor	Bukaan 100%			Bukaan 75%			Bukaan 50%		
	Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Jam)	Daya (KW)	Efisiensi (%)	Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Jam)	Daya (KW)	Efisiensi (%)	Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Jam)	Daya (KW)	Efisiensi (%)
Kompor 20x25	0,924	4,69	56,4	0,857	4,35	66,63	0,857	4,35	53,44
Kompor 20x30	1	5,07	68,75	1	5,07	38,77	0,924	4,69	59,87
Kompor 20x35	1	5,07	41,56	1	5,07	40,59	1	5,07	64,59



Gambar 10. Laju konsumsi bahan bakar pada kompor uji *Gama Stove*



Gambar 11. Daya panas yang dihasilkan kompor uji *Gama Stove*



Gambar 12. Efisiensi kompor uji *Gama Stove*

Daya panas yang dihasilkan oleh kompor *Gama Stove* menunjukkan bahwa kompor 20x30 kecuali bukaan 50% memiliki daya panas tertinggi dengan 5,07 kW. Daya panas terendah diperoleh kompor 20x25 bukaan 50% dan 75% dengan 4,35 kW.

Pada hasil analisis data kinerja kompor menunjukkan efisiensi ketiga kompor berkisar pada 38,77% - 68,75%. Kompor 20x30 dengan bukaan 100% memiliki efisiensi tertinggi dengan 68,75%. Efisiensi terendah juga diperoleh pula oleh kompor 20x30 bukaan 75% dengan 38,77%. Namun, secara rata-rata efisiensi kompor yang stabil di atas 50 % adalah kompor 20x25. Rata-rata efisiensi kompor yang diperoleh oleh kompor 20x25 sebesar 58,82%.

V. KESIMPULAN

1. Telah dibuat purwarupa kompor cangkang kelapa sawit berdiameter 20 cm dan tinggi 25 cm. Berdasarkan dari segi efisiensi penggunaan bahan bakar dan suhu pembakaran, kompor tersebut memiliki kinerja terbaik di antara 3 kompor yang diujikan, yaitu pada bukaan 75%. Kinerja tersebut ditunjukkan dengan : daya panas 4,3 kW, laju konsumsi bahan bakar 0,857 kg/jam, efisiensi 66,63%, suhu rata-rata pembakaran 682,590C dan laju gas pembakaran 1,29 m/s.
2. Telah dibuat purwarupa kompor cangkang kelapa sawit berdiameter 20 cm dan tinggi 30 cm. Berdasarkan dari segi efisiensi kompor dan *updraft* pembakaran, kompor tersebut memiliki kinerja terbaik di antara 3 kompor yang diujikan, yaitu pada bukaan 100%. Kinerja kompor tersebut ditunjukkan dengan : daya panas 5,07 kW, laju konsumsi bahan bakar 1 kg/jam, efisiensi 68,75%, suhu rata-rata pembakaran 664,750C dan laju gas pembakaran 1,63 m/s.
3. Terjadi peningkatan kinerja kompor terhadap kompor penelitian sebelumnya. Kompor dalam penelitian ini memiliki efisiensi 66,63 % pada kompor 20x25 bukaan 75 % dan 68,75 % pada kompor 20x30 pada bukaan

100%, sedangkan pada kompor penelitian sebelumnya memiliki efisiensi 50 %.

SARAN

1. Perlu dikembangkan penelitian lebih lanjut untuk peningkatan efisiensi perpindahan panas,
2. Perlu dilakukan pengukuran mengenai dinamika tekanan dan friksi dalam ruang bakar kompor,
3. Perlu dikembangkan studi pengisian bahan bakar,
4. Perlu dilakukan uji coba menggunakan kipas elektrik

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada pihak Bank Mandiri dan PT SIMP Tbk (Indofood Group) yang telah mendukung penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Maria Olsson. *Residential Biomass Combustion – Emissions Of Organic Compounds To Air From Wood Pellets And Other New Alternatives*. Department of Chemical and Biological Engineering, Chalmers University of Technology Göteborg, Goteberg, 2006.
- [2] Heri Setiawan. *Pemanfaatan Limbah Cangkang Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq) Dan Plastik Daur Ulang Sebagai Papan Komposit*. Skripsi Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatra Utara, Medan, 2008.
- [3] Laporan Hasil Uji. Laboratorium Kimia, Pusat Studi Pangan dan Gizi, Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2012.
- [4] *Downstream Products and Biodiesel*. Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. 2008
- [5] Peter Scott. Introduction of Rocket Stove Technologies (Institutional stoves, Household stoves and insulative refractory bricks) Into Malawi. 2004.
- [6] Mark Bryden, et al. *Design Principles of Wood Burning Cook Stoves*. Aprovecho Research Center, Shell Foundation Partnership for Clean Indoor Air.
- [7] Michelle Schullein, et al. *Trainee Manual : Improved Stove Selection and Dissemination*. Asia Regional Cookstove Program (ARECOP), Yogyakarta.
- [8] Kompor Biomassa UB-3 (Ramp-Indonesia). Diakses dari <http://ramp-indonesia.org/portfolio/kompor-biomassa-ub-03/> pada 30 September 2012.
- [9] Kompor Biomassa UB-3 Diakses dari <http://inotek.org/wp-content/uploads/2011/12/biomassa3.jpg> pada 30 September 2012
- [10] Thomas Castillo. *Experimental Investigation of Velocities in Three Small Biomass Cookstoves*. Thesis Graduate Program of Mechanical Engineering, The Ohio State University, 2011.
- [11] Cangkang Sawit dan Arang Tempurung Jadi Pengganti Solar. Diakses dari <http://www.pelita.or.id/baca.php?id=66860> pada 9 Maret 2011.
- [12] Rosyida Permatasari, et al. *Combustion Characteristics of Palm Wastes in Fluidized Bed Combustion*. Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 2010
- [13] Nasirotnunisa. *Analisis Nilai Kalor Bahan Bakar Biomassa yang Dapat Dimanfaatkan Kompor Biomassa*. Skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang, 2010.
- [14] Sjaak Van Loo., Jaap Koppejan. *Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing*. Earthscan, London, 2008
- [15] A. K. Raja, et al. *Power Plant Engineering*. New Age International Publishers, New Delhi, 2006
- [16] Krisna Prasad. *Some Studies on Open Fire, Shielded Fire and Heavy Stoves*. A Report From The Woodburning Stove Group, Department of Applied Physics, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 1981.
- [17] Lepiere, Krisna Prasad, Verhaart, dan Visser. *Wood Stove Compendium*. Eindhoven University of Technology. Eindhoven, 1981.
- [18] Marcio Souza-Santos. *Solid Fuels Combustion and Gasification : Modeling, Simulation, and Equipment Operation*. Marcel Dekker, Inc, New York, 2004.
- [19] Peta Yogyakarta dan Rokan Hilir Diakses dari Google Earth pada 10 April 2012.